

Екологічна безпека та раціональне природокористування

УДК 504.406

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ УЛОВЛЮВАННЯ ПАРІВ ВУГЛЕВОДНІВ

О.В.Паневник

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42331,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Запропоновано математичну модель роботи ежекційної системи, призначеної для уловлювання парів нафти і газу, що утворюються в газовому просторі нафтових резервуарів. На відміну від відомих моделей, запропонована методика є універсальною незалежно від умов використання струминного апарата і уможливорює прогнозування параметрів його експлуатації на стадії проектування.

Ключові слова: уловлювання парів вуглеводнів, ежекційна система, гідравлічне моделювання, нафтові резервуари.

Предложена математическая модель работы эжекционной системы, предназначенной для улавливания паров нефти и газа, выделяемых в газовом пространстве нефтяных резервуаров. В отличие от известных моделей предложенная методика является универсальной независимо от условий использования струйного аппарата и позволяет прогнозировать параметры его эксплуатации на стадии проектирования.

Ключевые слова: улавливание паров углеводородов, эжекционная система, гидравлическое моделирование, нефтяные резервуары.

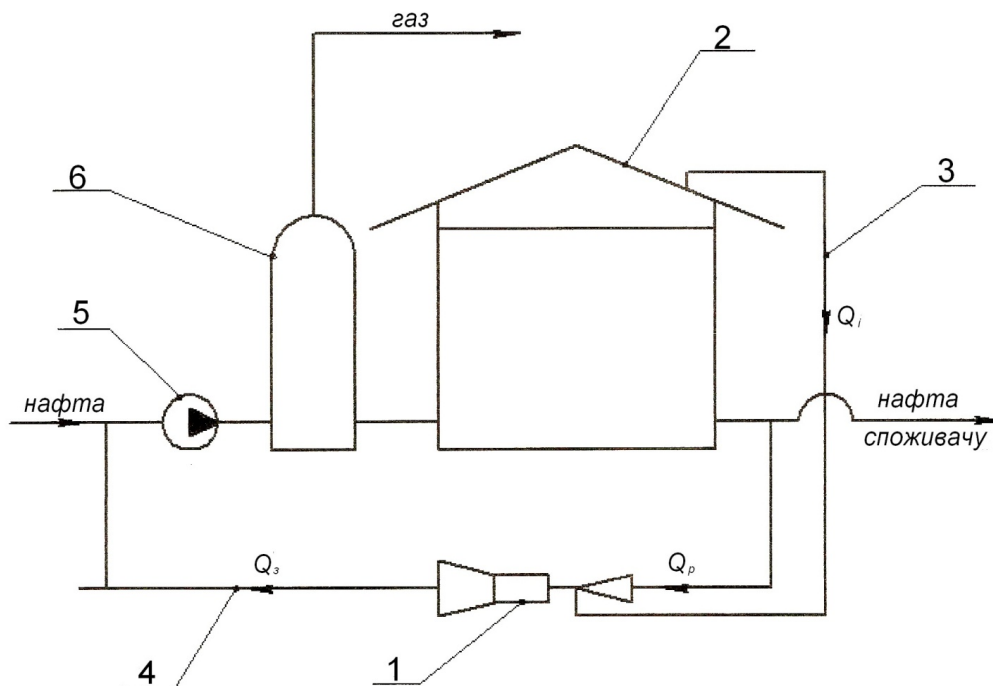
The mathematical model of operation jet systems serving for oil and gas vapor recovery evolved in gas space of oil basins is offered in paper. The suggested technique is general-purpose for using irrespective of jet device conditions as opposed to known models and allows prediction of its performance at a design stage.

Keywords: vapor carbohydrates trapping, jet system, hydraulic imitation, oil tank.

Негерметичність нафтових резервуарів є причиною виникнення підвищених концентрацій газу в повітрі в місцях розміщення пунктів збору та підготовки нафти. Суміш газів і парів нафти з повітрям за певних концентрацій може вибухати навіть при невеликих імпульсах теплової енергії. Крім виникнення небезпечних ситуацій, загазованість повітряного середовища викликає суттєві втрати продукції свердловин. Середньорічні втрати від великих «дихань» нафтових резервуарів складають близько 0,14% від об'єму нафтопродукту, що зберігається. Висока імовірність виникнення вибухів та пожеж, забруднення навколишнього середовища та значні економічні збитки свідчать про актуальність робіт, спрямованих на вдосконалення технологій уловлювання парів нафти і газу, що утворюються в газовому просторі нафтових резервуарів.

В роботах [1, 2] наведено схему уловлювання газоподібних вуглеводнів з газового про-

стору нафтогазового резервуара з використанням насосно-ежекторної установки. Привод струминного насоса здійснюється за рахунок енергії стовпа нафти в резервуарі та тиску на її вільну поверхню. Запропонована схема не містить автономного джерела робочого потоку і передбачає можливість зміни характеристик струминного насоса відповідно до зміни умов його роботи. Ефективне використання запропонованої схеми вимагає розробки математичної моделі робочого процесу струминного насоса. Найбільш поширені методики розрахунку ежекційних апаратів передбачають одночасний аналіз характеристик насоса та його гідравлічної системи [3, 4]. Подібні методики ускладнюють прогнозування впливу окремих чинників на показники роботи ежекційної системи. Крім того, комплексний розгляд параметрів, що стосуються безпосередньо струминного апарата та гідравлічної системи, в якій він працює, не дає змоги розробити єдиний підхід до побудови



1 – струминний насос; 2 – нафтовий резервуар; 3 – всмоктувальна лінія струминного насоса; 4 – всмоктувальна лінія відцентрового насоса; 5 – відцентровий насос; 6 – сепаратор

Рисунок 1 – Розрахункова схема ежекційної системи

математичних моделей робочого процесу ежекційних систем різних конструкцій та призначення. Метою даної роботи є розробка уніфікованої методики розрахунку ежекційної системи незалежно від конструкції системи уловлювання парів нафти і газу та зовнішніх умов.

Відповідно до запропонованої методики розрахунок ежекційних систем незалежно від їх конструкції, призначення та умов використання необхідно проводити у три етапи. На першому етапі проводиться аналіз рівняння характеристики струминного насоса, вигляд якого уточнюється відповідно до умов використання. Другий етап передбачає розгляд характеристики гідралічної системи струминного насоса, яку необхідно привести до вигляду, що уможливіє її застосування для опису робочого процесу ежекційної системи. Завершальний етап розрахунку характеризується спільним розв'язком рівнянь, які описують характеристики насоса та його гідралічної системи. Графічно такий розв'язок можна представити як знаходження робочої точки струминного насоса, що отримується внаслідок перетину характеристик насоса та його гідралічної системи.

Розрахункова схема ежекційної системи для уловлювання парів вуглеводнів зображена на рис. 1. Робоча насадка струминного насоса 1 під'єднана до нижньої частини нафтового резервуара 2. Всмоктувальна лінія 3 струминного насоса з'єднана з газовим простором резервуара, а напірна лінія 4 – з всмоктувальною лінією відцентрового насоса 5, який подає газорідну суміш на сепаратор 6. Робочий потік з витратою Q_p подається на робочу насадку струминного насоса, а інжектований потік Q_i – в його

приймальну камеру. Змішаний потік з витратою Q_z прямує у всмоктувальну лінію відцентрового насоса.

Загальна форма запису рівнянь характеристик струминного апарата та його гідралічної системи має вигляд

$$h = \frac{P_z - P_i}{P_p - P_i}, \quad (1)$$

де: h – відносний напір струминного апарата; P_z, P_p, P_i – значення тисків змішаного, робочого та інжектованого потоків.

Відповідно до конструкції ежекційної системи тиск змішаного потоку P_z визначається на виході з дифузора, тиск робочого потоку – перед робочою насадкою, а тиск інжектованого потоку – перед приймальною камерою струминного апарата.

Вигляд рівняння характеристики струминного апарата визначаємо використовуючи закон збереження кількості руху рідини в його змішувальній камері [5]

$$h = 1.75 \frac{f_p}{f_i} - 1.07 \left(\frac{f_p}{f_i} \right)^2 (1 + i)^2, \quad (2)$$

де: f_p, f_i – площі перерізу робочої насадки та камери змішування;

i – коефіцієнт інжекції струминного насоса.

Виведення рівняння характеристики гідралічної системи передбачає попередній розрахунок робочої витрати і тисків в характерних перерізах струминного апарата.

Тиск робочого потоку P_p визначається величиною гідростатичного тиску $P_{гидр}$, що створюється стовпом нафти в резервуарі і значенням тиску на вільну поверхню рідини, який для

даного випадку визначається величиною тиску в газовому просторі $P_{газ}$

$$P_r = P_{газ} + P_{гидр} = P_{газ} + \rho g H, \quad (3)$$

де: ρ – густина нафти;

g – прискорення вільного падіння;

H – рівень нафти в резервуарі.

З іншого боку, тиск робочого потоку витрачається на подолання гідравлічних втрат в робочій насадці струминного насоса $\Delta P_{рн}$ та лінійних втрат тиску $\Delta P_{л}$ в з'єднувальних лініях струминного апарата

$$P_r = \Delta P_{рн} + \Delta P_{л}. \quad (4)$$

Втрати тиску в робочій насадці струминного апарата визначаємо за формулою

$$\Delta P_{рн} = \frac{\rho Q_p^2}{2 \mu_{рн}^2 f_p^2}, \quad (5)$$

де: Q_p – робоча витрата струминного апарата;

$\mu_{рн}$ – коефіцієнт витрати робочої насадки.

Втрати тиску на тертя визначаємо за формулою Дарсі-Вейсбаха

$$\Delta P_{л} = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{V^2}{2}, \quad (6)$$

де: λ – коефіцієнт лінійного гідравлічного опору;

l, d – довжина та діаметр гідравлічний ліній;

V – швидкість потоку.

Тиск парів газу в газовому просторі над рівнем нафти в резервуарі визначаємо як середнє значення між спрацюванням дихального і запобіжного клапанів.

Спільний розв'язок рівнянь (3) – (6) дає змогу визначити величину робочої витрати струминного апарата.

Розрахунок гідравлічних втрат за формулою (6) передбачає попереднє визначення коефіцієнта лінійного гідравлічного опору, для чого послідовно знаходять швидкість потоку і число Рейнольдса. Під час розрахунку двох останніх величин враховують фактичну величину витрати рідини, внаслідок чого розв'язання рівнянь (3) – (6) можливе виключно у разі застосування методу послідовних наближень.

Тиск змішаного потоку визначається величиною гідравлічних втрат в лінії, що з'єднує струминний апарат з відцентровим насосом 5 (рис. 1). Загальний вигляд формули для визначення тиску змішаного потоку відповідає рівнянню (6).

Тиск інжектованого потоку визначаємо як тиск парів нафти і газів у газовому просторі нафтового резервуара

$$P_i = P_r = \frac{[P_1] + [P_2]}{2}, \quad (7)$$

де $[P_1], [P_2]$ – відповідно тиски, за яких спрацюють гідравлічний та запобіжний клапани нафтового резервуара.

Після визначення тисків змішаного P_r , робочого P_p та інжектованого P_i потоків за рівнянням (1) отримуємо характеристику гідравлічної системи струминного апарата. Розв'язок

системи рівнянь, що визначають характеристики струминного апарата та його гідравлічної системи, дає змогу визначити режими роботи пристрою для уловлювання парів нафти і газу. Графічний розв'язок рівнянь характеристик струминного апарата і гідравлічної системи зображений на рис. 2. Точка А на графіку визначає режим роботи струминного апарата. Величина коефіцієнта інжекції, визначена з графіка, становить $i = 0,011$. Виходячи з отриманого значення коефіцієнта інжекції визначаємо витрату інжектованого потоку

$$Q_i = 3600 i Q_p. \quad (8)$$

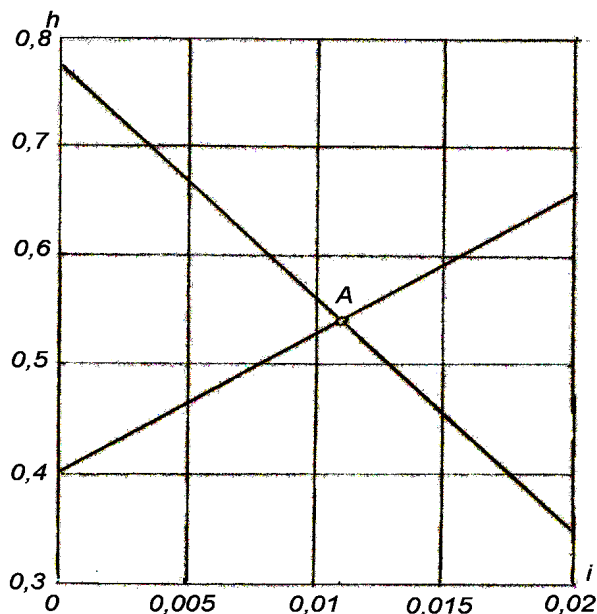


Рисунок 2 – Визначення режиму роботи струминного апарата

На рис. 3, 4 подаються залежності інтенсивності утворення парів нафти і газу в газовому просторі нафтового резервуара, суміщені з інтенсивністю їх відсмоктування у зимовий та літній періоди часу. Аналіз наведених залежностей свідчить, що застосування запропонованої системи уловлювання парів нафти і газу дає змогу повністю виключити забруднення атмосфери в районі розташування нафтових резервуарів. Завданням наступних досліджень є оптимізація геометричних розмірів проточної частини струминного апарата, які забезпечили б максимальну ефективність його застосування.

Література

- 1 Паневник О. Підвищення екологічної безпеки при експлуатації нафтових резервуарів / Олександр Паневник // Науковий вісник. – 2009. – № 1(19). – С.36-40.
- 2 Паневник О. Дослідження умов утилізації нафтових газів / Олександр Паневник // Науковий вісник. – 2009. – № 2(20). – С. 26-31.
- 3 Дерусов В.П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин / В.П. Дерусов. – М.: Недра, 1984. – 184 с.

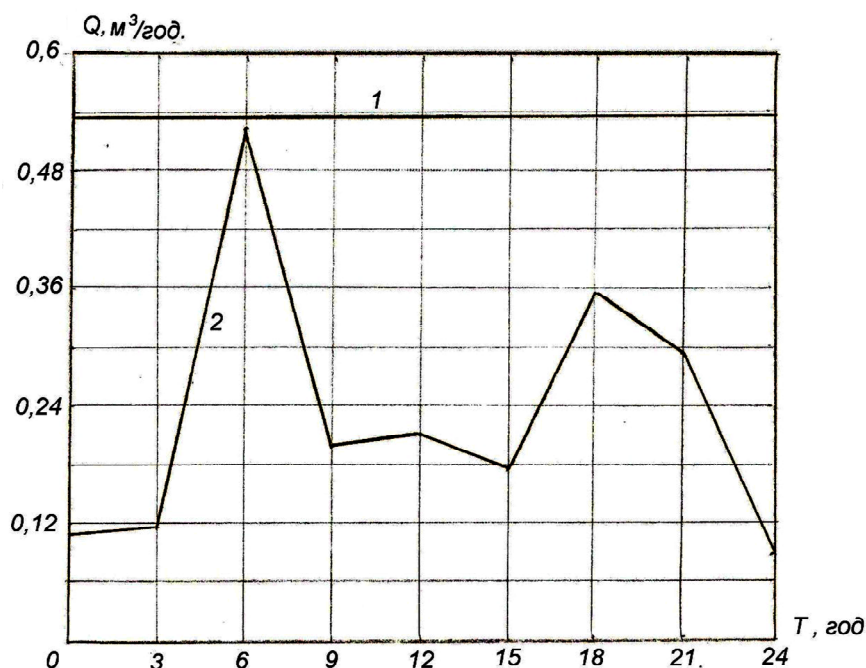


Рисунок 3 – Інтенсивність відсмоктування (1) та утворення (2) парів вуглеводнів з газового простору нафтового резервуара в літній період

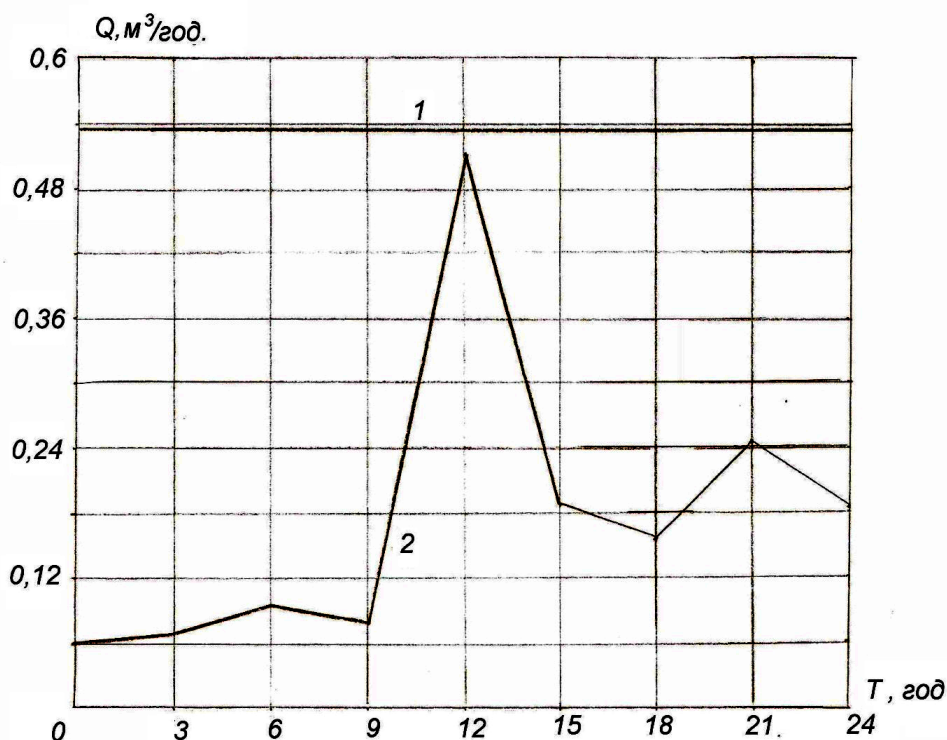


Рисунок 4 – Інтенсивність відсмоктування (1) та утворення (2) парів вуглеводнів з газового простору нафтового резервуара в зимовий період.

4 Сазонов Ю.А. Разработка устройства, снижающего дифференциальное давление на забое скважин и повышающего скорость бурения: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.07 «Машины и агрегаты нефтяной и газовой промышленности» / Сазонов Юрий Алексеевич; Московский ин-т нефти и газа им. И.М. Губкина. – Москва, 1989. – 18 с.

5 Соколов Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов; Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.

Стаття поступила в редакційну колегію
22.01.10
Рекомендована до друку професором
В. Я. Грудзом